



SPELEN MET STROOM(ING) EN GETIJENERGIE?

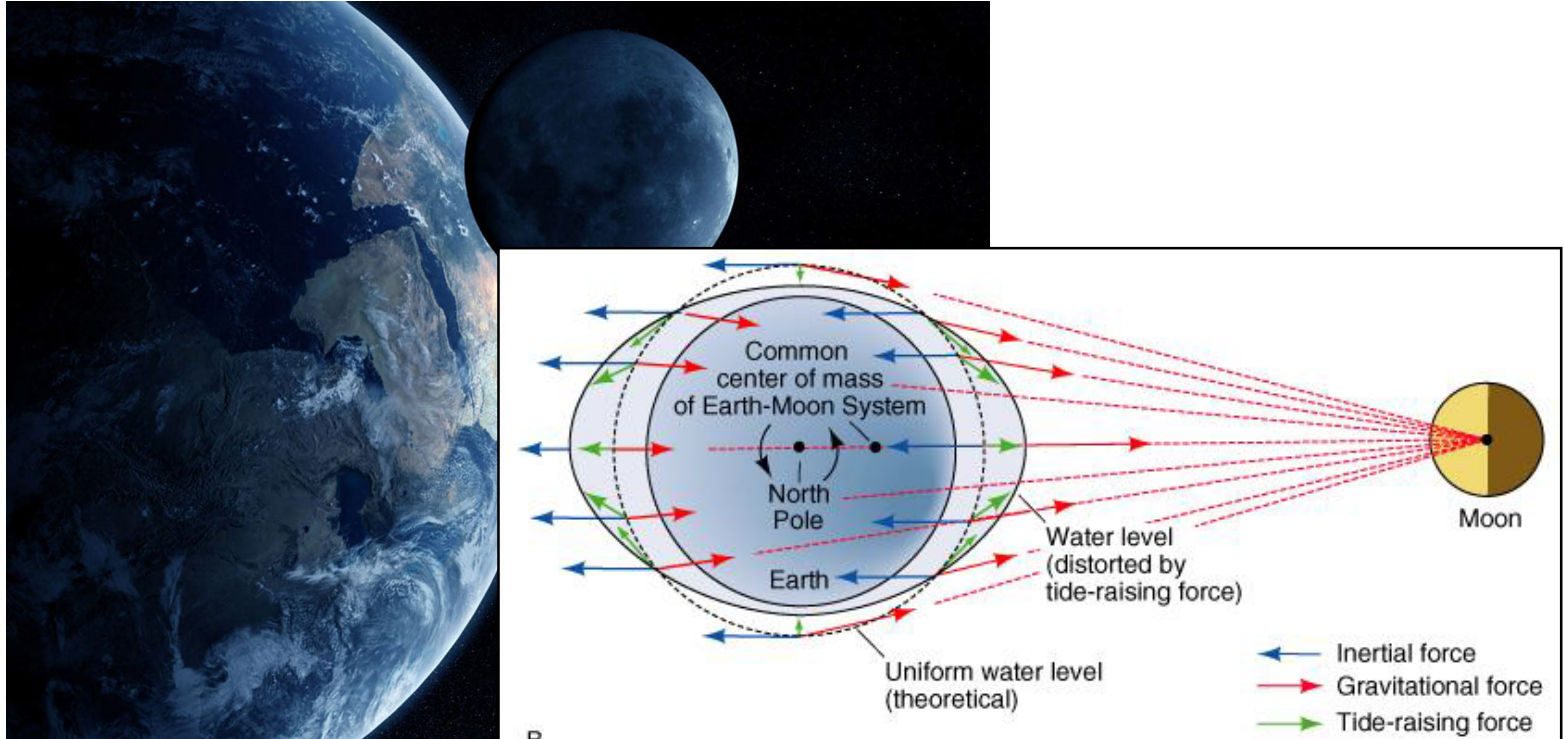
Dr. ir. Jacob van Berkel
 Δ -Power Research Group
HZ University of Applied Sciences
16 februari 2022



Inhoud:

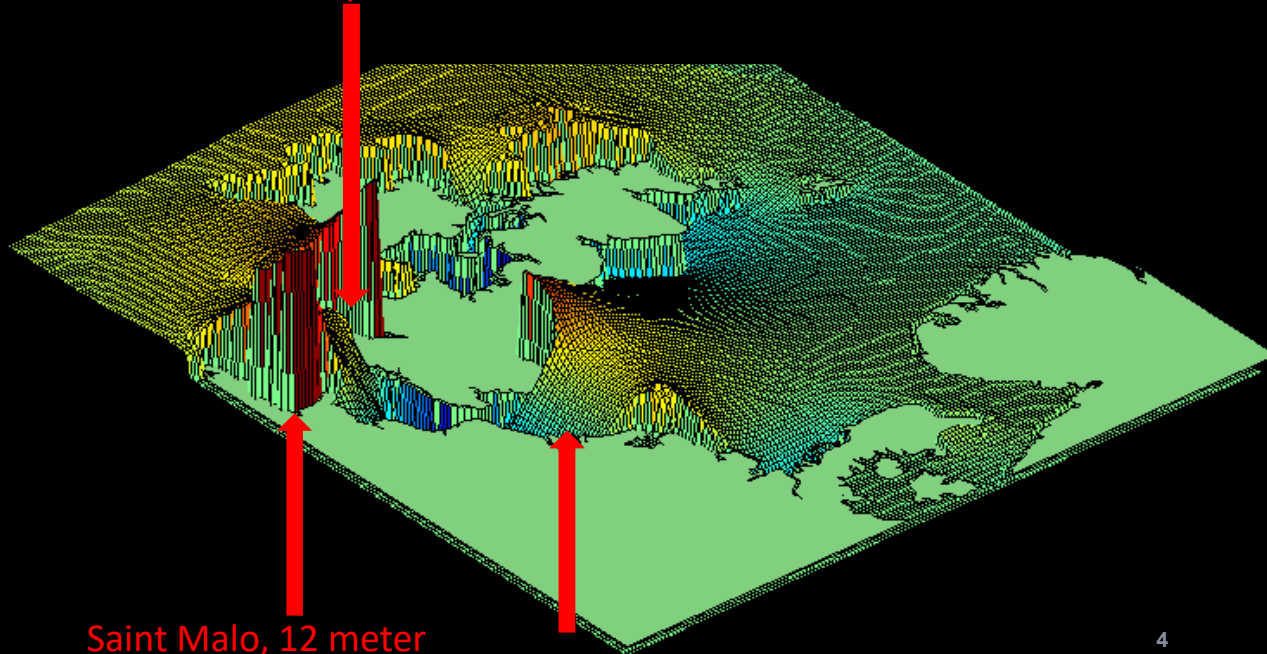
1. Stand van de Techniek t.a.v. Getijenergie
2. “Tidal Range” voor ultra laag verval?
3. Kostenreductie door combinaties van functies
4. Functies: Waterveiligheid en Energie
5. Technologie, Economie en Ecologie
6. Conclusies

Getijenergie komt beschikbaar uit de beweging van de aarde, maan (en zon):



Astronomical Tide in the Dutch Continental Shelf Model

Severn Estuary, 14 meter



Saint Malo, 12 meter

Brouwersdam, 2,5 meter



KINETISCHE ENERGIE:



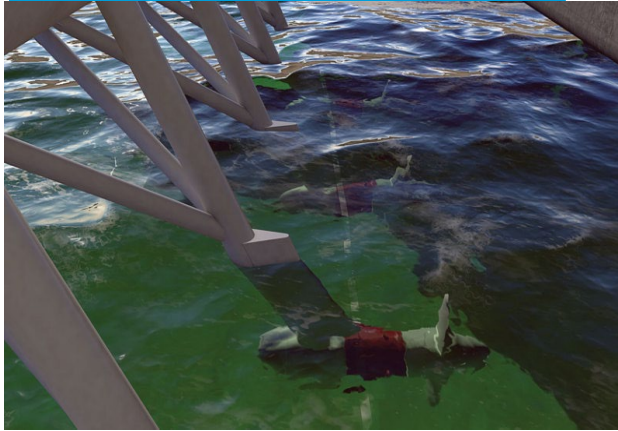


POTENTIËLE ENERGIE



TWEE CONVERSIE-TECHNIEKEN

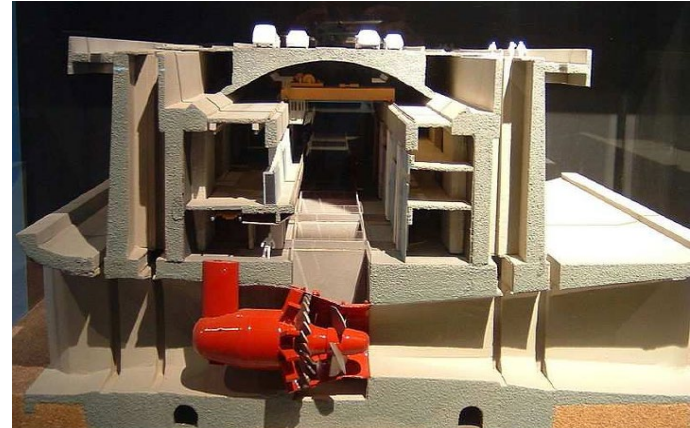
Vrijstroomturbines



1,25 MW_e, Oosterscheldekering

- Lagere investering (geen dam)
- Lager (technisch) rendement
- €/MWh?

Drukturbines



240 MW_e, La Rance (Frankrijk)

- Hogere investering (dam)
- Hoger (technisch) rendement
- €/MWh?



Orbital O2



April 2021 - From Dundee to Orkney



July 2021 – Generating power into UK grid

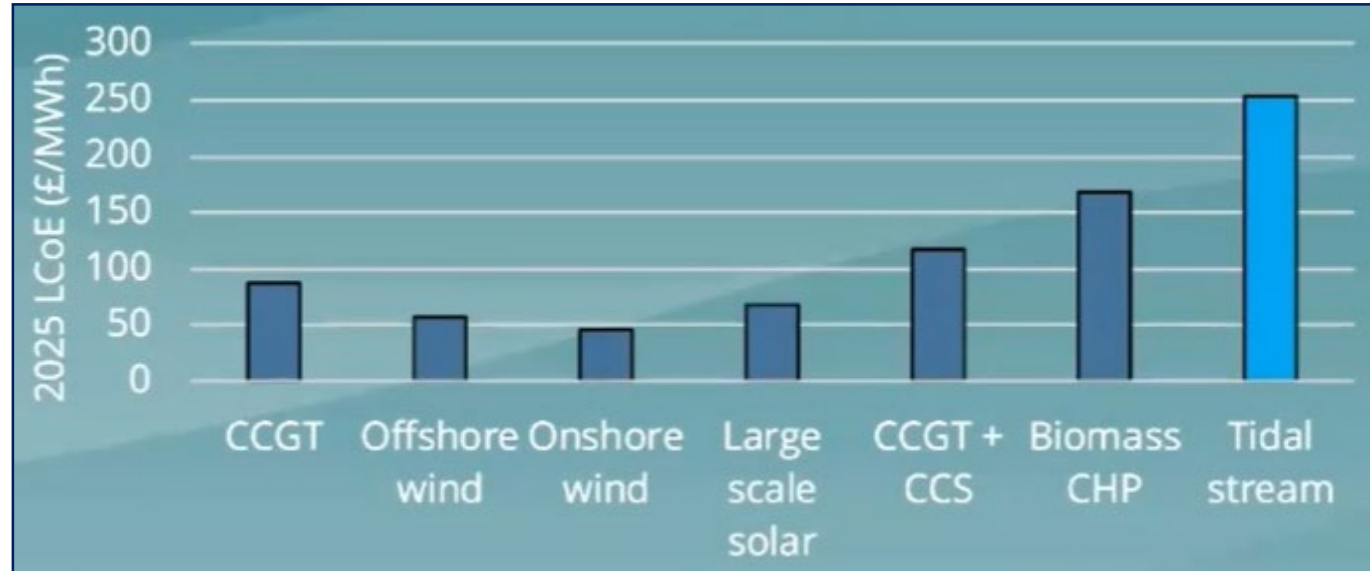
SimecAtlantis (Schotland)



HydroQuest (Fr)



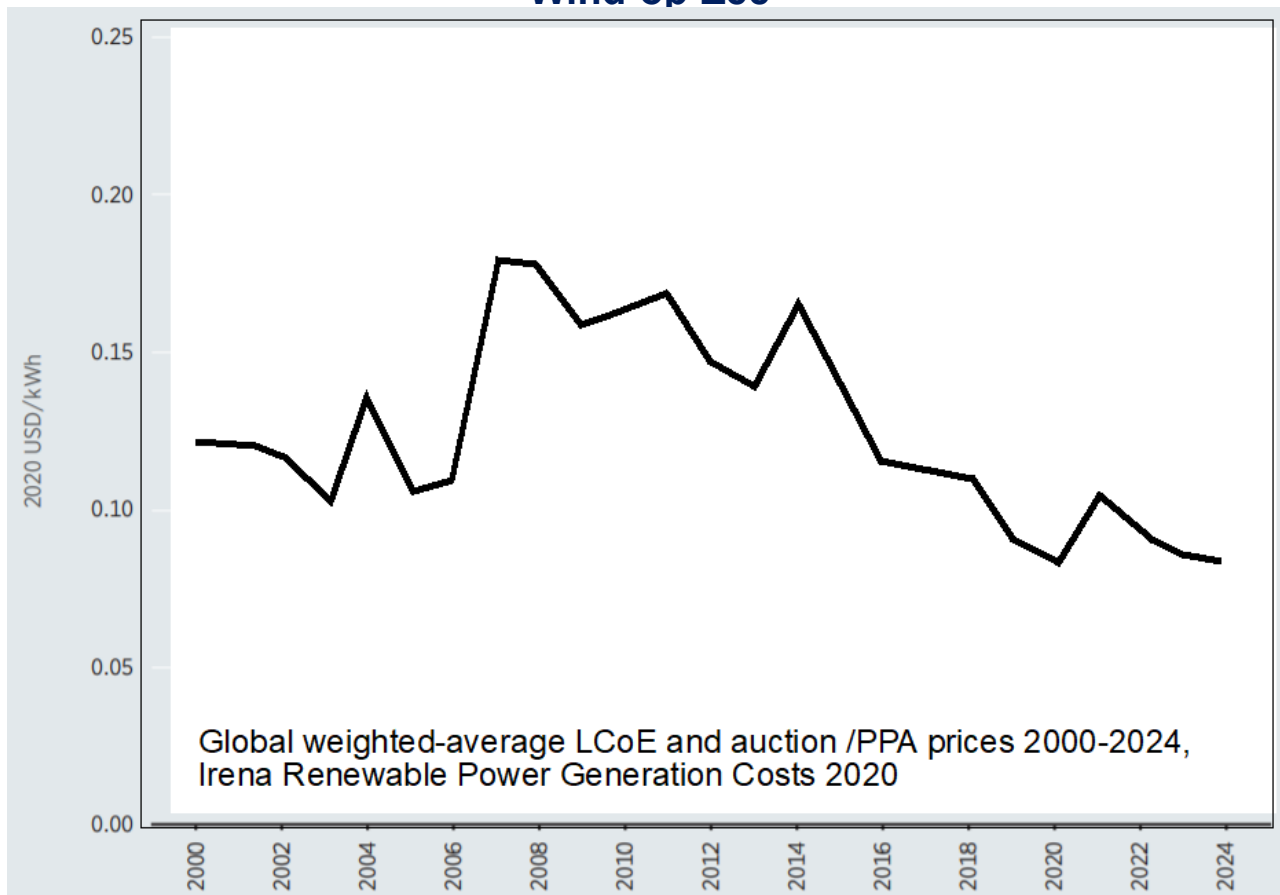
Levelized Cost of Energy (LCoE) [€/kWh]



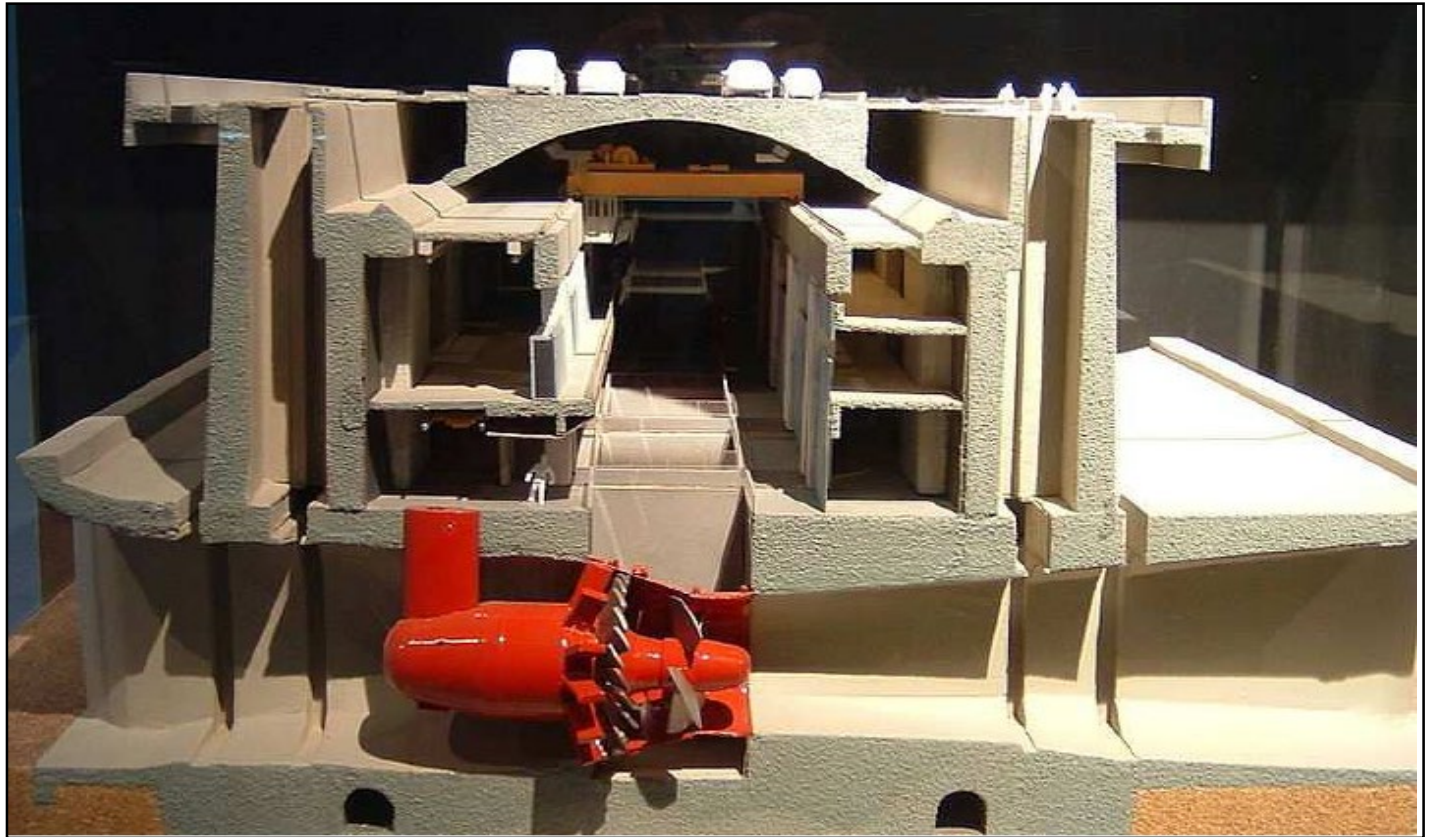
Walter, S., Failure and reliability growth in tidal stream turbine deployments, European Wave and Tidal Energy Conference September 2021



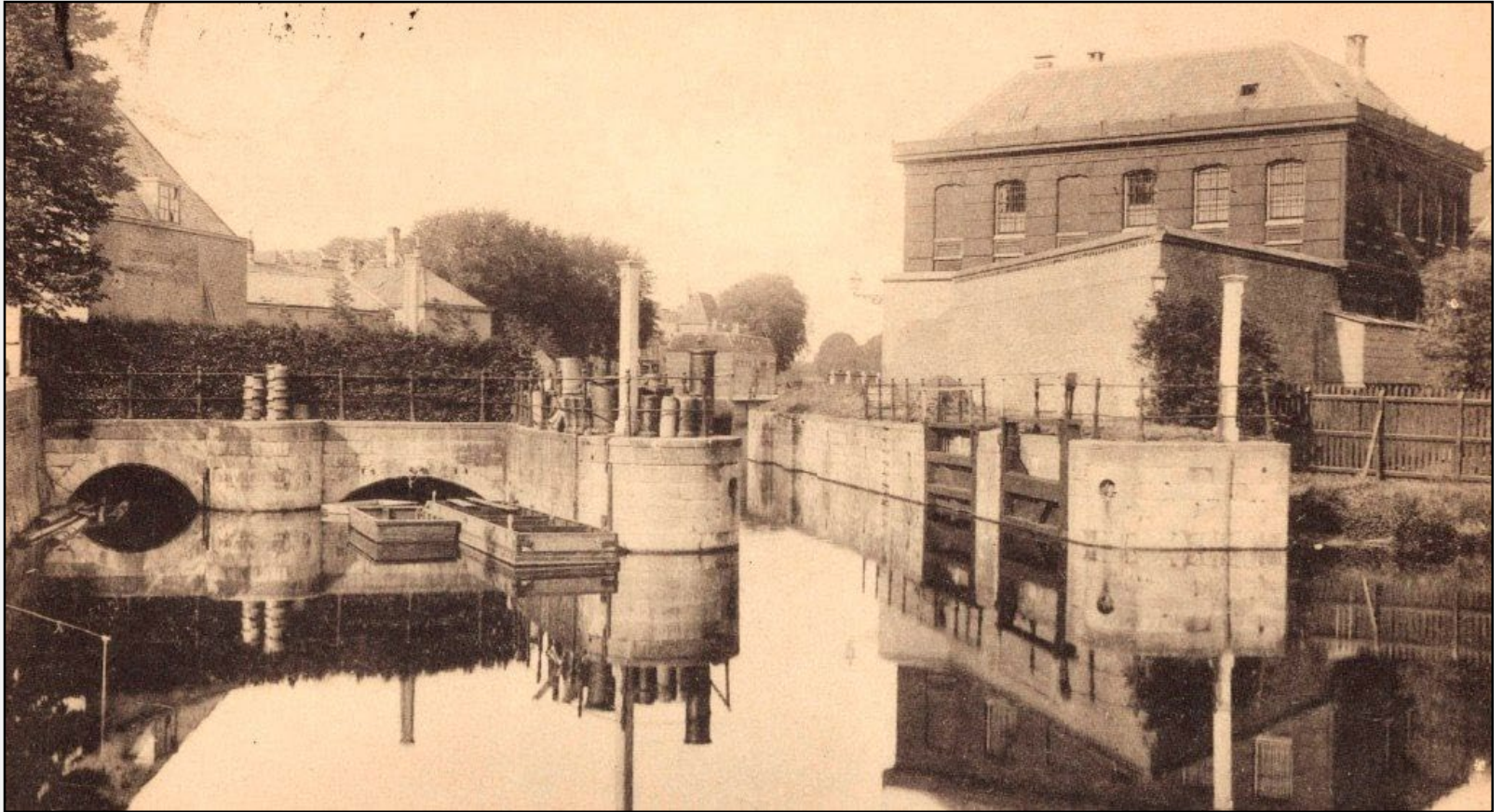
Levelized Cost of Energy (LCoE) [\$/kWh] Wind-op-Zee



TOEPASSING VAN DRUKTURBINES



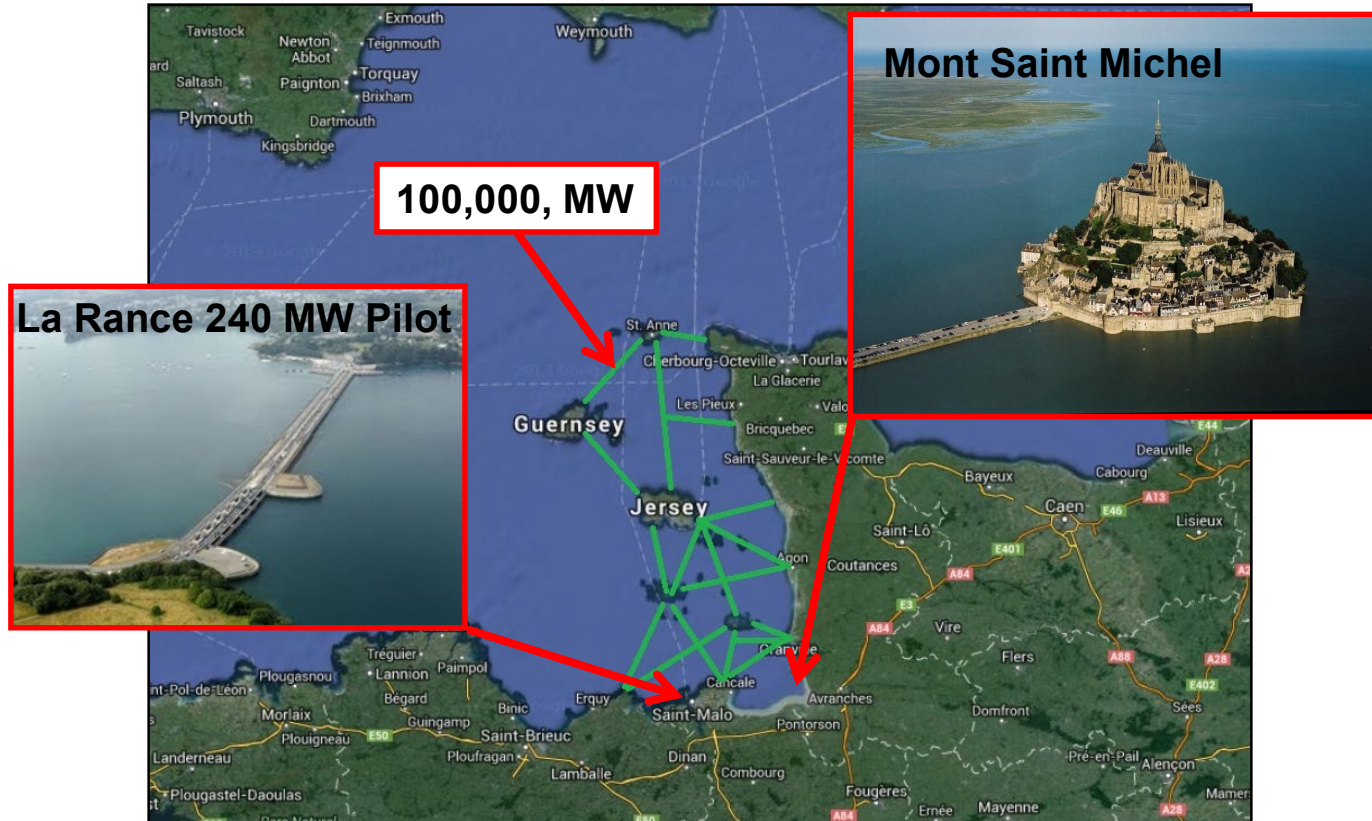
La Rance getijcentrale St. Malo (Fr, 1963)



Getijmolen Middelburg



Na-oorlogse ervaring van getijenergie in Frankrijk (juist voor overstap atoomenergie)



's Werelds grootste (255 MWe, 2010)



SIHWA (Zuid Korea):

- 6 m. gem. getij
- Φ 7,5 meter
- 43 km²
- 255 MW
- 533 GWh/jaar
- 350 M\$
- 20 €/MWh (excl. dam)
- (Tidal Energy Technology Brief, Irena, June 2014)



Via de nieuwe doorlaat stroomt twee keer per dag 4,6 miljoen m³ zee water in en uit het Grevelingenmeer

'Pompen als het moet en turbineren als het kan' in het Grevelingenmeer

Doorlaat in de dam voor getij

/// Doorlaat Brouwersdam
/// Zeespiegelstijging tot 40cm

BENNO BOETERS

CIVIELE TECHNIEK Later deze maand gaat de minister van Infrastructuur en Milieu naar verwachting het groene licht geven voor de planuitwerking van een nieuwe doorlaat in de Brouwersdam. Die is nodig om voldoende zee water in en uit het Grevelingenmeer te laten stromen, zodat een einde komt aan de slechte waterkwaliteit in het grootste zoutwatermeer van

West-Europa. Afgelopen zomer luiden milieuoorganisaties en duikers weer de alarmbel over de dode zwarte zone in de onderste waterlaag, waar vissen en bodemleven door zuurstofgebrek sterven en alleen zwavelbacteriën overleven. Vooral in de zomer en als er weinig wind is mengt de warme bovenlaag niet met de koude laag eronder.

Dat die doorlaat er moet komen is zonnklaar. Maar of in die nieuwe doorlaat ook een getijden centrale wordt ingebouwd is nog de vraag. Provincies en gemeenten rond de Greve-

lingen pleiten al jaren voor zo'n innovatieve opwekking van duurzame energie, die heel Goeree-Overflakkee van groene stroom kan voorzien. Echter, om deze meekoppelkansen te verzilveren moet de markt bereid zijn om deze te financieren en exploiteren.

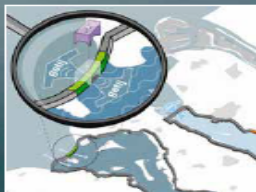
Welkome extra voorziening

Door de toenemende harde prognoses over zeespiegelstijging verschaffen turbines in het doorlaatmiddel een welkome extra voorziening. Want een turbine kan naast stroom opwekken ook water verpompen. En pompen is

noodzakelijk als bij eb de zee niet laag genoeg staat om water op vrij verval uit het meer te spuien.

Natura2000

'In 2018 heeft het kabinet extra geld voor verbetering van de waterkwaliteit beschikbaar gesteld', vertelt Paul Paulus van Rijkswaterstaat. 'Echter, het bleek dat met het oorspronkelijke peil-beheerscenario het verlies aan natuurwaarden op de oevers groot zou zijn en dat een groot aantal maatregelen moesten nemen om te voldoen aan de Natura2000 doelstellingen. Hier-



voor was het beschikbare budget van 140 miljoen niet toereikend. We hebben vervolgens met Deltares en Wageningen Marine Research scenario's doorgerekend en gekeken naar kosten en milieueffecten. Rekening houdend met een beperkt budget komen we (ook de provincies, het rijk, Staatsbosbeheer en de omringende gemeenten) nu uit op een doorlaat met 12 kokers van elk 8x8 m en een getijslag van 40 cm', aldus Paulus. Deltares heeft berekend dat dat ontwerp voldoet en een mogelijke zeespiegelstijging tot 40 cm aankan.

Dat houdt in dat het peil op het meer met eb en vloed meebeweegt naar plus of min 20 cm rond het gemiddelde peil. Tegelijkertijd verlaagt RWS dit peil met 10 cm. Waar nu de waterhoogte in de Grevelingen op gemiddeld NAP - 20 cm staat, wordt dat NAP - 30 cm. Zo blijft de waterhoogte bij vloed beperkt tot NAP - 10 cm (het huidige hoogste waterpeil), wat vooral belangrijk is voor de strook waardevolle natuur langs de oevers en op de vier eilanden/zandplaten. Onder water neemt met de getijslag van 40 cm de menging toe, genoeg om zuurstof in de lage regionen te krijgen.

Drie keuzes

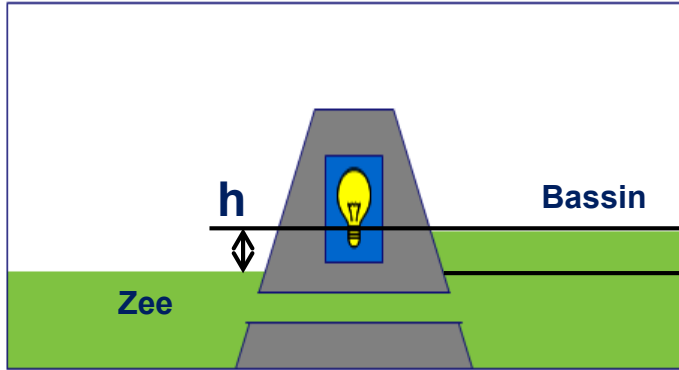
Van de drie keuzes die de minister nu krijgt voorgelegd, is nummer 1 - een 'kale doorlaat' zonder getijden centrale - de minst waarschijnlijke. Of het optie 2 wordt - een doorlaat met turbines, of 3 - een doorlaat die voorbereid is op turbines in de nabije toekomst - hangt niet van de minister af maar van de marktpartijen die al dan niet een positieve businesscase zien in de getijden centrale.

Jacob van Berkel, extern adviseur voor RWS en lector duurzame energie in deltagebieden aan de Hogeschool Zee land in Vlissingen, benadrukt het belang van turbines in de doorstroombokers in de Brouwersdam. Naast duurzame elektriciteit opwekken, kunnen turbines zoals al aangegeven ook dienst doen als pompen. En met die functionaliteit kan de Brouwersdam als voorbeeld dienen voor de rest van de wereld.

'We hebben in kaart gebracht dat wereldwijd 461 delta's kwetsbaar zijn voor zeespiegelstijging. Om steden en bevolking te beschermen ligt het dan voor de hand daar een dam voor te leggen, maar onze ervaring leert dat je dan problemen met waterkwaliteit krijgt. Een doorlaat met turbines die ook kunnen pompen is dan een goede keuze. Pompen als het moet en turbineren als het kan', aldus Van Berkel. **TW**

Kosten bij kleinere getijamplitude (Nederland):

Fysica:



$$P_{ave} = \frac{\rho g A h^2}{2T}$$

Met:

ρ	dichtheid van zeewater [kg/m ³]
g	versnelling vd zwaartekracht [kg/m ³]
A	oppervlak van het bassin [m ²]
H	getijamplitude [m]
T	tijd tussen hoog/laag-water ~ 6 uur

$\frac{1}{2}$ getijamplitude = $(\frac{1}{2})^2$ energie-opbrengst [MWh]

$\frac{1}{2}$ debiet (bij $\frac{1}{2}$ valhoogte) = $(\frac{1}{2})^{0,5}$ x investering [€]

= $(2)^{1,5}$ x €/MWh

Halvering van getijslag $\approx$ 3-voudige E-productieprijs



UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES



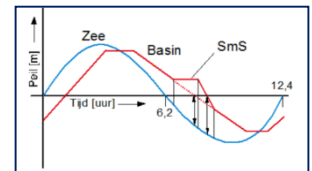
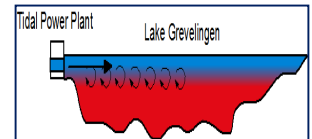
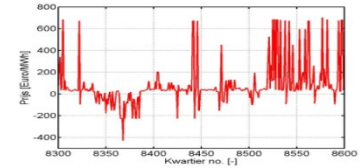
Laag-verval getijenergie te duur

> kostenreductie

Kostenreductie door functie-combinatie = Spelen met Stroom(ing)

Meervoudige functie-combinaties:

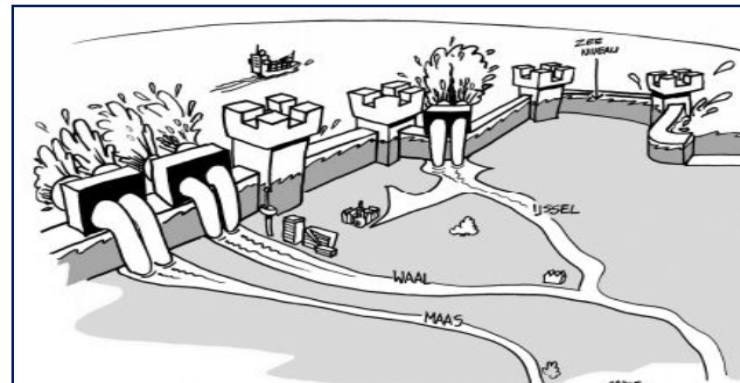
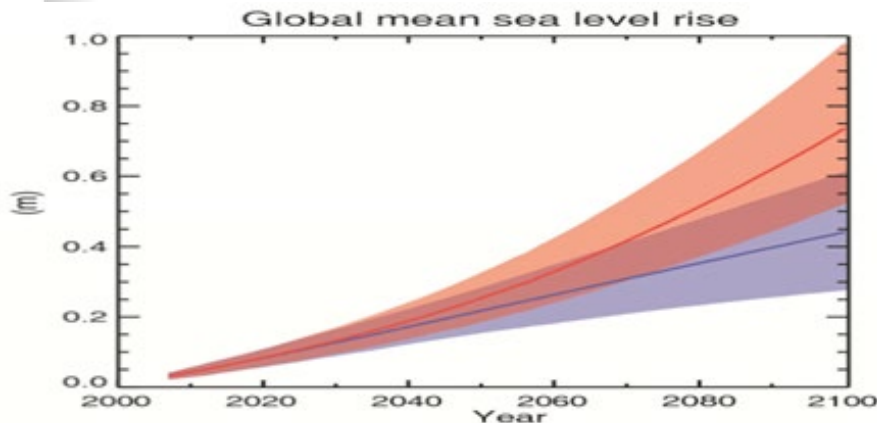
1. Elektriciteit-handel & net-stabilisatie
2. Tegengaan van regionale net-congestie
3. Stimuleren van opmenging van het bassin



Met een getijcentrale die:

1. Snel-schakelend, door turbineren & pompen, vermogen kan leveren, opslaan, en weer kan terugleveren.

Toegevoegde functie-combinatie: Voortschrijdend inzicht: zeespiegelstijging



<http://climateadaptatin.hawaii.gov/sea-level-rise/>

Deltares, 2017



Venetië, San Marco



Mumbai



Bangladesh



Dordrecht



Zeespiegelstijging?



Don't look up?

Waterveiligheid (door pompen) & getijenergie

1) Δ -klimaat adaptatie:

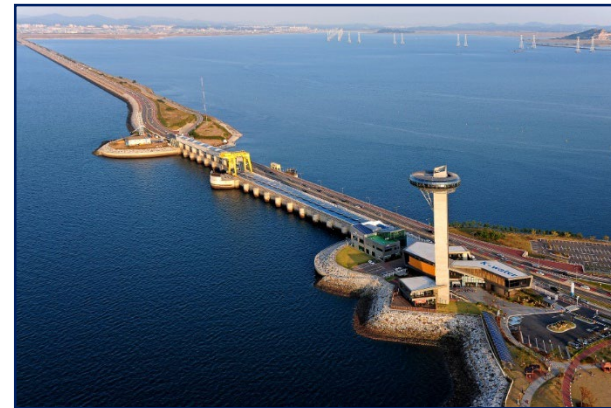
Wegpompen van wateroverschot



West Closure Complex, USA, 570 m³/s

2) Δ -klimaat mitigatie

Productie van duurzame energie



Lake Sihwa Tidal power Plant en South-Korea (Ha, 2015)

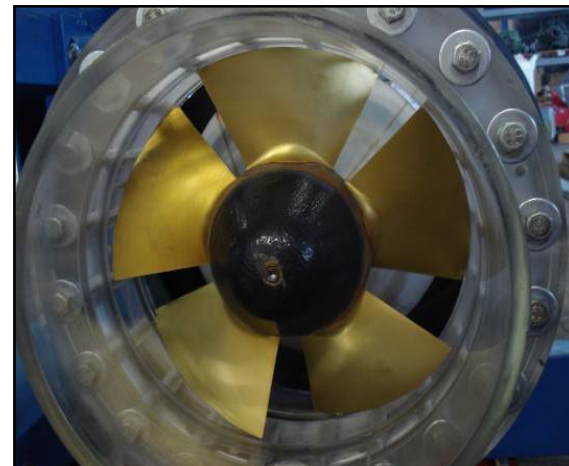
Nieuwe Delta-techniek “Klimaatcentrale”

“pompen als het moet; turbineren als het kan”: (pompen is leidend).

POMP-TURBINES: KAN HET, TECHNISCH, EN ECONOMISCH?



Testopstelling @ HZ University of Applied Sciences



Pentair/Fairbanks/Nijhuis

4-quadrant bedrijf: Pompen en turbineren in twee richtingen



RESULTATEN VAN HAALBAARHEIDSONDERZOEK EN EXPERIMENTEN:

1. 4-quadrantenbedrijf: Pompen en turbineren in twee richtingen gedemonstreerd,
2. snel-schakelen (< 10 s op volle-schaal) haalbaar,
3. inrichting (regeling & sturing) als “pomp-turbine” mogelijk,
4. optimalisatie als pomp, $\sim 1-5$ % rendementsverlies als turbine,
5. meerkosten voor terugleverende FrequentieOmvormers (FO) < 100 €/kW_e

Als pompgemaal toch al wordt gebouwd,
bij gunstige hydrologische condities
toevoeging van getijenergie mogelijk kosteneffectief
(LCoE $< 0,05$ €/MWh)

Exportpotentieel van pompende getijcentrales:



Deltares, 2019.

1. 461 locaties met toekomstige wateroverlast én potentieel getijenergie
2. Half miljard mensen bedreigd
3. Energiepotentieel ?



UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

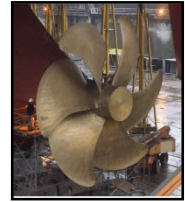


Vervolgonderzoek:

1. Opschaling naar ~ 8 meter diameter (hydrodynamica & elektromechanica):



7,5 m. Sihwa



9,6 m Emma Maersk

1. Vis- en zeezoogdierveiligheid

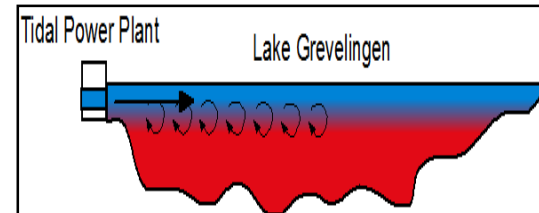


Mutilatie van zeezoogdieren door scheepsschroeven, Thompson, 2010).

1. Potentieel van klimaatcentrales, case-studies



1. Hydrodynamica van gestratificeerde meren (kinetische & potentiële energiebalans)

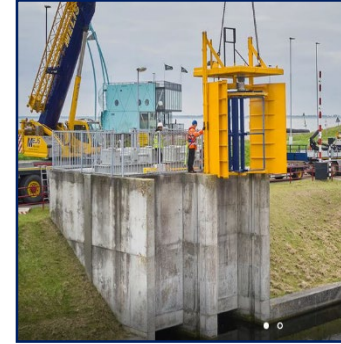


Getijenergie in Nederland ?

1. Nederland als proeftuin voor laag-verval pompen en getijenergie

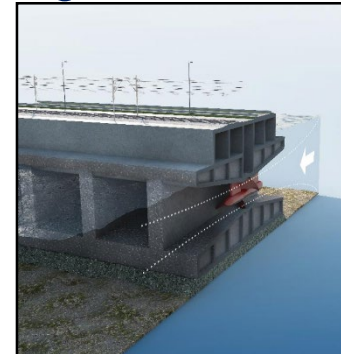


Gemaal IJmuiden, Stork & Pentair. Behorend tot s'werelds grootste pompen).



Getijnturbine van W2E in de spuisluis te Vlissingen

2. Export van nieuwe Delta-techniek (voor veiligheid én energie)



(Joosten, 2015)



Hartelijk dank voor uw aandacht!

Jacob van Berkel

Lectoraat Δ -Power

Duurzame Energie in de Delta

HZ-University of Applied Sciences

Spelen met Stroom(ing) mede-gefinancierd door Regieorgaan SIA onderdeel van
Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO)

SVB/RAAK.PRO02,074